



AUSLEGESCHRIFT 1 146 966

G 31163 VIIIb/21c

ANMELDETAG: 15. DEZEMBER 1960

BEKANNTMACHUNG

DER ANMELDUNG

UND AUSGABE DER

AUSLEGESCHRIFT: 11. APRIL 1963

1

Strombegrenzungsvorrichtung

Die Erfindung betrifft elektrische Vorrichtungen und Schaltungen, welche Kurzschlußströme, Überlastströme und andere mögliche Schäden stiftende Ströme begrenzen.

Zur Verhinderung von Überstromstärken werden bereits strombegrenzende Sicherungen verwendet, die anders als normale Schmelzsicherungen konstruiert sind. Ihr elektrisches Verhalten ist sehr verschieden von dem normaler Sicherungen, und sie werden auch in den meisten Fällen nur zusammen mit anderen Schaltelementen verwendet. Bei einer bekannten strombegrenzenden Schmelzsicherung wird ein fester Überstromleiter verwendet, der so gelocht ist, daß in seiner Längsrichtung eine Reihe von schmelzbaren Einschnürungen entsteht. Dieser Leiter befindet sich in einem zylinderförmigen Isoliergehäuse, das mit Quarzsand gefüllt ist. Falls wegen Überstroms die schmelzbaren Stellen schmelzen und den Sicherungskreis zu unterbrechen beginnen, werden die beim Schmelzen dieser Elemente entstehenden Lichtbögen durch den umliegenden Quarzsand gekühlt und ausgelöscht, wobei keine Gase oder andere Stoffe aus dem Gehäuse austreten. Sobald das schmelzbare Element zu schmelzen beginnt, entsteht in der Leitung eine Gegenspannung, die den Strom zu verringern sucht. Der Strom kann also nicht die Größe erreichen, die in Abwesenheit der Schmelzsicherung auftreten würde. Die Fähigkeit einer Schmelzsicherung, den Strom zu begrenzen, nimmt jedoch mit Zunahme der Dauernennstromstärke ab.

Obwohl das Hauptinteresse dem Spitzenstrom gilt, hat dieser bisher nicht als Grundlage für die Anwendung von strombegrenzenden Schmelzsicherungen gedient. Der Grund dafür liegt darin, daß das Verhalten einer Schmelzsicherung auf das Verhalten der elektrischen Schaltung abgestimmt werden muß, in der sich die Schmelzsicherung befindet. Sehr oft wird eine Schmelzsicherung zusammen mit einem Schutzschalter mit thermischer und magnetischer Abschaltvorrichtung verwendet. In diesem Falle soll natürlich der Schutzschalter alle innerhalb seines Unterbrechungsbereiches auftretenden Überlastungs- und Kurzschlußströme abschalten, während die Schmelzsicherung die oberhalb der Nennstromstärke des Schutzschalters auftretenden Kurzschlußströme unterbrechen soll. Wenn man das Abschaltverhalten einer Schmelzsicherung auf das Abschaltverhalten eines Schutzschalters abstimmt, so stellt sich gewöhnlich heraus, daß größere Augenblicks-Spitzenströme als erwünscht von der Schaltung durchgelassen werden.

Im Gegensatz zu derartigen Schmelzsicherungen bezieht sich die Erfindung auf eine Strombegrenzungs-

Anmelder:

General Electric Company,
Schenectady, N. Y. (V. St. A.)

Vertreter: Dipl.-Ing. M. Licht,
München 2, Sendlinger Str. 55,
und Dr. R. Schmidt, Oppenau (Renchtal),
Patentanwälte

Beanspruchte Priorität:

V. St. v. Amerika vom 15. Dezember 1959 (Nr. 859 773)

Ralph Loyd Hurtle, West Hartford, Conn. (V. St. A.),
ist als Erfinder genannt worden

2

vorrichtung mit einem zwischen zwei Anschlußgliedern angeordneten festen Isolator, durch den sich mindestens eine kapillarartige Öffnung erstreckt, die mit einem verdampfbaren elektrischen Leiter ausgefüllt ist, der elektrischen Kontakt mit den beiden Anschlußgliedern hat, die zusammen mit dem Isolator ein abgeschlossenes Gehäuse bilden.

Es gibt bereits derartige Strombegrenzungsvorrichtungen, bei denen sich bei Überstrom das Volumen des in den kapillarartigen Öffnungen befindlichen Leiters ändert. Bei diesen bekannten Vorrichtungen sollen sich bei Überstrom Gas- oder Dampfblasen bilden, durch die der galvanische Zusammenhang des elektrischen Leiters getrennt wird. Man will auf diese Weise die Entstehung eines elektrischen Lichtbogens verhindern. Das Verhalten einer derartigen Strombegrenzungsvorrichtung bei Überstrom hängt also davon ab, wo und in welcher Anzahl die Gas- und Dampfblasen gebildet werden. Werden die Dampfblasen an der engsten Stelle gebildet, dann wird der Strom nicht nur begrenzt, sondern er kann teilweise auch vollständig unterbrochen werden.

Eine vollständige Unterbrechung des elektrischen Stromes erfolgt auch bei den anderen bisher bekanntgewordenen Sicherungen, bei denen der Strom durch in Kapillarrohren od. dgl. befindliches Quecksilber geleitet wird.

Bei einer solchen Quecksilbersicherung wird das normalerweise in einem Kapillarrohr eingeschlossene Quecksilber bei Überstrom durch den erzeugten

Lichtbogen und hohen Druck auseinandergetrieben und in die vorgesehenen Expansionskammern gedrängt.

Bei einem anderen mit einem Quecksilberleiter arbeitenden elektrischen Stromunterbrecher, der nicht als Überstromsicherung gedacht ist, steht das Quecksilber schon im Normalzustand unter hohem Druck. Dadurch soll erreicht werden, daß die bei Stromdurchgang entstehende Quecksilberdampfblase infolge des hohen Druckes eine hohe Durchschlagsspannung erhält und der Strom vollständig unterbrochen wird.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, eine Strombegrenzungsvorrichtung der obengenannten Art zu schaffen, die zur Begrenzung hoher und höchster Ströme geeignet ist, ohne dabei den Strom vollständig zu unterbrechen, und deren Verhalten bei Überstrom genau vorausbestimmbar ist.

Um das zu erreichen, wird bei einer Strombegrenzungsvorrichtung mit einem zwischen zwei Anschlußgliedern angeordneten festen Isolator, durch den sich mindestens eine kapillarartige Öffnung erstreckt, die mit einem verdampfbaren elektrischen Leiter ausgefüllt ist, der elektrischen Kontakt mit den beiden Anschlußgliedern hat, die zusammen mit dem Isolator ein abgeschlossenes Gehäuse bilden, erfindungsgemäß eine Anordnung so getroffen, daß dieses Gehäuse zur Erzielung eines strombegrenzenden Hochdrucklichtbogens in der kapillarartigen Öffnung bei Überstrom in einem starren, mit einem unter hohem Druck stehenden Medium gefüllten Druckgefäß angeordnet ist.

Bei einer solchen Strombegrenzungsvorrichtung bildet sich bei Überstrom ein Hochdrucklichtbogen mit einem hohen Spannungsgradienten aus, da sich das Volumen des in der kapillarartigen Öffnung befindlichen elektrischen Leiters nicht ändern kann, weil ja die gesamte Strombegrenzungsvorrichtung in einem starren Druckgefäß angeordnet ist. Auf diese Weise werden mechanische Schwingungen wirksam vermieden, die durch Expansion und Kontraktion des elektrischen Leiters auftreten würden und möglicherweise zur Zerstörung der Strombegrenzungsvorrichtung führen könnten. Das Verhalten der erfindungsgemäßen Strombegrenzungsvorrichtung bei Überstrom ist vorausbestimmt, da immer die gleichen Verhältnisse herrschen, d. h., es wird ein Hochdrucklichtbogen gebildet, dessen Spannungsgradient bekanntlich vom Dampfdruck abhängt. Da also bei Überstrom das Volumen des elektrischen Leiters konstant bleibt, kann der elektrische Leiter nicht aus der kapillarartigen Öffnung verdrängt werden, so daß die erfindungsgemäße Strombegrenzungsvorrichtung mehrere Male zur Strombegrenzung verwendet werden kann.

Das abgeschlossene Gehäuse der erfindungsgemäßen Strombegrenzungsvorrichtung ist zweckmäßigerweise mit unter Druck stehendem Isolieröl angefüllt, wobei gemäß einer weiteren zweckmäßigen Ausgestaltung eine Einrichtung zur Erhöhung des Isolieröldruckes vorgesehen ist.

Die Arbeitsweise der erfindungsgemäßen Strombegrenzungsvorrichtung ist folgende:

Falls über einem bestimmten Wert liegende Ströme durch die erfindungsgemäße Vorrichtung hindurchgeschickt werden, verdampft das in den kapillarartigen Bohrungen befindliche leitende Material an Ort und Stelle. Da die gesamte Anordnung außer-

ordentlich starr und nicht porös ist, werden durch den in den kapillarartigen Bohrungen verdampften Leiter außerordentlich hohe Drücke erzeugt. Der Stromweg durch die Strombegrenzungsvorrichtung wird zwar nicht unterbrochen, jedoch hat der in der Strombegrenzungsvorrichtung auftretende Hochdrucklichtbogen einen sehr hohen Spannungsgradienten. Je höher der Druck wird, desto größer wird die entlang der Vorrichtung erzeugte Spannung und desto wirksamer die Strombegrenzung. Da das Wärmespeichervermögen der mit leitendem Material gefüllten kapillarartigen Bohrungen sehr gering ist, hat die Strombegrenzungsvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung eine außerordentlich kurze Ansprechzeit. Da das Gehäuse verhältnismäßig starr ist und da dadurch das leitende Material in den kapillarartigen Bohrungen zurückgehalten wird, behält das leitende Material sein Volumen bei, ohne daß eine schwingungsartige Ausdehnung und Zusammenziehung stattfindet. Da außerdem das leitende Material aus den kapillarartigen Bohrungen nicht herausgepreßt wird, kann die Strombegrenzungsvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung ohne Neueinstellung mehrfach verwendet werden.

In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 einen Querschnitt durch eine Strombegrenzungsvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung,

Fig. 2 im vergrößerten Maßstab eine Draufsicht des Mittelstückes von Fig. 1,

Fig. 3 ein Schaltbild eines Dreiphasen-Überstromabschalters, der durch die Strombegrenzungsvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung geschützt ist,

Fig. 4 eine graphische Darstellung der Strom-Zeit-Kennlinie eines Überstromabschalters mit thermischen und magnetischen Auslösevorrichtungen, von Schmelzsicherungen und der Strombegrenzungsvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung und

Fig. 5 eine Wiedergabe eines Oszillogramms, das die Strombegrenzungswirkung der erfindungsgemäßen Strombegrenzungsvorrichtung bei einem Kurzschluß zeigt.

Die in Fig. 1 gezeigte Strombegrenzungsvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung besitzt ein sehr festes Stahlgehäuse 10, in dessen Mitte die strombegrenzenden Elemente angeordnet sind. Bei dieser Ausführungsform bestehen die strombegrenzenden Elemente aus einer dichten, nicht porösen, keramischen Scheibe 11, die in der Mitte mit einer Anzahl von parallelen kapillarartigen Bohrungen 12 versehen ist, welche ganz mit einem metallischen Leiter 13 gefüllt sind. Da diese Teile außerordentlich hohen Beanspruchungen ausgesetzt sind, werden hierfür die besten Werkstoffe verwendet.

Die Enden der mit dem elektrischen Leiter gefüllten kapillarartigen Bohrungen haben elektrischen Kontakt mit Kammern 14 und 15, die mit demselben leitenden Material gefüllt sind. Diese Kammern befinden sich in Anschlußgliedern 16 und 17, die mit ihren Grundflächen 18 auf der keramischen Scheibe 11 haften und eine feste Umhüllung der mit dem leitenden Material gefüllten Bohrungen bilden. In der gezeigten Ausführungsform ist der in den Bohrungen 12 und den Kammern 14 und 15 befindliche metallische Leiter bei normalen Temperaturen flüssig. In jedes der beiden Anschlußglieder 16 und 17 ist mit leichtem Paßsitz ein Stöpsel 19 eingesetzt, wodurch der flüssige Leiter in den kapillarartigen Bohrungen und in den Kammern zurückgehalten wird und das

gesamte umschlossene Volumen von flüssigem Leiter ausgefüllt wird. Jeder Stöpsel ist mit einer in axialer Richtung verstellbaren Schraube 20 versehen, mit deren Hilfe nach der Füllung der Kammern und der Bohrungen eventuell noch vorhandene Dampf- oder Luftblasen, die ein Versagen der Vorrichtung zur Folge haben können, beseitigt werden können. Die Füllung der Kammern und der Bohrungen wird vorzugsweise im Vakuum durchgeführt. Beim anschließenden Einlaß von Luft unter normalem Druck wird der flüssige Leiter in noch nicht ausgefüllte Poren gepreßt.

Auf den äußeren Enden der Anschlußglieder 16 und 17 sitzen Klemmen 22 und 23, von denen jede am inneren Ende mit einem Flansch 24 bzw. 25 und am äußeren Ende mit einem von außen zugänglichen Innengewinde 26 bzw. 27 zugänglich ist. Mit Hilfe dieser Innengewinde kann die Strombegrenzungsvorrichtung in eine Leitung eingeschaltet werden. Das Gehäuse 10 wird von einem Stahlklotz 30 gebildet, der eine rechteckige Form hat und mit einer zylinderförmigen Bohrung 31 versehen ist, in welcher sich die strombegrenzenden Elemente befinden. Auf beiden Enden des Klotzes 30 sitzen Stahlkappen 32 und 33, die durch vier sich durch den Klotz 31 und die Kap-
pen 32 und 33 erstreckende Maschinenschrauben 34 festgeklemmt sind. Aus der im Maßstab 1:1 gezeichneten Fig. 1 ist ersichtlich, daß die Strombegrenzungsvorrichtung sehr hohen Drücken widerstehen kann.

So ist jede Klemme 22 bzw. 23 von einer Isolierhülse 35 bzw. 36 umgeben, die vorzugsweise aus einem geeigneten Epoxyharz besteht und zur Verhinderung von Überschlügen mit einem großen Außenflansch versehen ist. Am Innenflansch 24 der Klemme 22 und am Innenflansch 25 der Klemme 23 liegt je eine isolierende Beilage an, die aus zwei keramischen Ringen 37 besteht, zwischen denen sich ein Dichtungsring 38 befindet. Diese Teile isolieren die Klemmen 22 und 23 vom Stahlklotz 30 und tragen dazu bei, daß die Klemmen nicht aus dem Gehäuse herausgedrückt werden können, da sie sich als druckübertragende Bauelemente zwischen den zusammengeschraubten Kappen 32 und 33 und den Flanschen 24 und 25 der Klemmen befinden.

Die beiden Anschlußglieder 16 und 17 sitzen fest in den tassenförmig ausgebildeten Enden 39 der Klemmen 22 und 23 und können dadurch die Wand der Bohrung 31 nicht berühren. Die keramische Scheibe 11 und die Anschlußglieder 16 und 17 sind durch unter Druck stehendes Öl vom Gehäuse 30 abisoliert, das den Zwischenraum zwischen diesen Elementen und der Innenfläche der axialen Bohrung 31 ausfüllt. Die tassenförmigen Enden 39 der Klemmen sind mit tiefeingeschnittenen Schlitzern versehen, so daß das unter Druck stehende Öl auf die Enden und Seiten der Anschlußglieder 16 und 17 einwirken kann. Das Öl wird durch eine später noch zu beschreibende Vorrichtung unter Druck gesetzt, wodurch auf die inneren Teile der Strombegrenzungsvorrichtung ein sehr hoher Anfangsdruck ausgeübt wird, der dazu beiträgt, daß die Vorrichtung nicht zu Bruch geht, wenn während der Strombegrenzung große Kräfte entstehen. Mit der beschriebenen Vorrichtung wurden Drücke in der Größenordnung von 21 000 kg/cm² erreicht.

Bei den bei diesen Drücken auftretenden Druckgradienten würden viele normalerweise feste Stoffe zu

fließen anfangen. Die in der Vorrichtung nach Fig. 1 verwendeten Dichtungen, beispielsweise die Dichtungsscheibe 38, müssen also sehr steif sein. Außerdem ist es erforderlich, daß die einzelnen Teile genau aufeinander abgepaßt sind.

Die in Fig. 1 gezeigte Vorrichtung hat weiterhin zwei Bohrungen 41 und 42, die mit einem Gewinde versehen sind und in die axiale Bohrung 31 münden. In der einen Bohrung befindet sich eine an sich bekannte Vorrichtung 43 zum Messen hoher Drücke. Eine derartige Meßvorrichtung hat zwar keinen Einfluß auf die Wirkungsweise der Strombegrenzungsvorrichtung, wurde aber bei der vorliegenden Vorrichtung verwendet, um auf die Größe der auftretenden Drücke hinzuweisen und eine Möglichkeit zur Messung dieser Drücke zu zeigen. Die andere Bohrung 41, durch welche die hydraulische Flüssigkeit eingeführt wird, ist mit einer Schraube 44 verschlossen. Wird die Kappe 32 festgeschraubt, so entsteht eine hubähnliche Bewegung der Ringe 37 und der Dichtung 38, wodurch auf die Flüssigkeit ein hoher Druck ausgeübt wird. Geschieht dies, so wird ein glatter Kolben 45, der genau in einen Zylinder der Druckmeßvorrichtung eingepaßt ist, nach außen gegen eine zwischen dem Kolbenkopf 46 und einem Widerlager 47 angeordnete Kupfermeßkugel gedrückt. Die Abplattung der Kupfermeßkugel ist ein Maß für die auf den Kolben 45 wirkende Kraft und daher auch ein Maß für den in der ölgefüllten Bohrung 31 herrschenden Druck. Die Abplattung kann mit Hilfe von Meßkeilen oder Meßlehren gemessen werden, deren Meßbacken zur Messung des Abstandes zwischen dem Kolbenkopf 46 und dem Widerlager 47 durch in den Seitenteilen der Vorrichtung befindliche Öffnungen 49 hindurchgeführt werden können.

Wie bereits beschrieben wurde, wird in der in Fig. 1 beschriebenen Strombegrenzungsvorrichtung der Strom von der einen Klemme 22 zur anderen Klemme 23 über die mit einem Leiter gefüllten kapillarartigen Bohrungen in der keramischen Scheibe 11 geleitet. Über einem bestimmten Wert liegende Ströme bewirken eine Verdampfung des meisten Teils des in den Bohrungen befindlichen Metalls. Da das verdampfte Metall nicht entweichen kann, entstehen in den Bohrungen sehr hohe Drücke und Temperaturen. Das gesamte Gehäuse muß so stark sein, daß im wesentlichen keine Durchbiegung oder elastische Verformung durch die in den Bohrungen auftretenden hohen Innendrucke auftreten können. Könnte eine Durchbiegung auftreten, so würde das leitende Material in den kapillarartigen Bohrungen sich abwechselungsweise ausdehnen und zusammenziehen. Die durch die Vorrichtung hindurchgehenden großen elektrischen Ströme erzeugen einen instabilen Hochdrucklichtbogen, wobei der an diesem auftretende Spannungsabfall eine schnelle Strombegrenzungswirkung zur Folge hat. Der Spannungsabfall am Lichtbogen hängt vom Druck im Lichtbogen ab, und deshalb muß der entwickelte Druck aufrechterhalten werden. Eine Schwingung des leitenden Materials in den Bohrungen könnte den Lichtbogen periodisch unterbrechen. Dies würde wiederum eine Druckschwingung in der Vorrichtung zur Folge haben, die periodisch die Strombegrenzungswirkung hemmen würde. Das Gehäuse wird daher so starr ausgebildet, daß der elektrische Leiter in den kapillarartigen Bohrungen keine Schwingungen ausführen

kann, die wesentliche Volumenänderungen des Leiters zur Folge haben.

Die vorliegende Strombegrenzungsvorrichtung unterbricht im Gegensatz zu einer Schmelzsicherung die Leitung selbst nicht. Würde der Lichtbogen gelöscht, dann würden die leitenden Bohrungen durch Kondensation des Metaldampfes wieder so leitend werden, daß sofort wieder ein neuer Lichtbogen entstehen würde. Während der Strombegrenzung verbraucht die Vorrichtung daher eine erhebliche Energiemenge. Diese Energie kann ohne Schädigung der Vorrichtung abgeleitet werden. Die Gründe hierfür werden näher erläutert.

Der Strom durch die vorliegende Strombegrenzungsvorrichtung wird in eine ganze Anzahl von zueinander parallelliegenden Kanälen aufgeteilt. Dies ist am besten aus Fig. 2 ersichtlich, in welcher die keramische Scheibe 11 näher dargestellt ist. Die Strombelastung der Strombegrenzungsvorrichtung hängt nicht nur von dem in den Bohrungen 12 befindlichen leitenden Material ab, sondern auch von der Summe der Querschnittsflächen der kapillarartigen Bohrungen. Die thermische Wirksamkeit hängt von einer ganzen Anzahl von Faktoren ab. Am wichtigsten ist das Verhältnis der Oberfläche der Bohrungen zum Volumen der Bohrungen. Die gesamte Oberfläche der Bohrungen sollte für eine gegebene Strombelastung so groß wie möglich sein, denn von dieser Oberfläche hängt die Geschwindigkeit ab, mit der die in den Bohrungen freigesetzte Energie abgeleitet werden kann. Die Bohrungen sollten daher so klein wie möglich und dementsprechend auch zahlreich sein, damit der erforderliche Gesamtquerschnitt zustande kommt. Die Anzahl und Größe der Bohrungen sollte natürlich auch im Licht der Herstellungskosten der Vorrichtung betrachtet werden. Es wurden Bohrungen mit einem Durchmesser von 0,0075 mm hergestellt, wobei jedoch die Herstellung und Füllung mit elektrisch leitendem Material sehr schwierig ist. Bei Bohrungen mit einem Durchmesser von 0,025 mm konnten ohne viel Schwierigkeiten gefüllt werden. Es hat sich jedoch herausgestellt, daß Bohrungen mit einem Durchmesser von ungefähr 0,035 mm einen vernünftigen Kompromiß darstellen. Der Durchmesser derartiger Bohrungen reicht zur Erzielung eines ziemlich hohen Verhältnisses der Oberfläche zum Volumen der Bohrungen aus und ist doch so groß, daß die Bohrungen leicht hergestellt und gefüllt werden können. Die in Fig. 2 gezeigten 37 Bohrungen dieser Größe ermöglichen bei Füllung mit Quecksilber ohne besondere Kühlung eine Dauerstromstärke von 150 A und bedeutend höhere Begrenzungsströme. Der Abstand der Bohrungen ist nicht sehr kritisch, aber man zieht es vor, die Bohrungen in der Mitte der Scheibe anzuordnen, so daß die äußeren Teile der keramischen Scheibe eine wesentliche Verstärkung bilden. Durch Unterteilung des Lichtbogens in parallel geschaltete Lichtbögen wird die Kühlwirkung verstärkt, wodurch wiederum die Geschwindigkeit der Entionisierung sehr groß und dadurch der Spannungsabfall im Lichtbogen erhöht und der durchgehende Strom begrenzt wird.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß die besten Ergebnisse erzielt werden, wenn bei der Herstellung der Strombegrenzungsvorrichtung Werkstoffe höchster Güte verwendet werden. Es sind keine Werkstoffe bekannt, die in einem Hochtemperatur-Hochdruck-Lichtbogen nicht angegriffen werden.

Durch Unterteilung des Lichtbogens in eine Anzahl von kleineren parallelliegenden Lichtbögen wird erreicht, daß die Energie mit einer solchen Geschwindigkeit abgestrahlt und abgeleitet wird, daß die Oberflächen der Bohrungen in der Scheibe durch die Lichtbögen kaum angegriffen werden. Das heißt aber nicht, daß die Scheibe eine unbegrenzte Lebensdauer hat. Die Konstruktion der Strombegrenzungsvorrichtung verringert die schädlichen Wirkungen und ermöglicht eine lange Benutzungsdauer, so daß die Vorrichtung oft zur Strombegrenzung verwendet werden kann.

Um die schädlichen Wirkungen der strombegrenzenden Lichtbögen weiter zu verringern, wird die Scheibe 11 vorzugsweise aus einem sehr dichten polykristallinen keramischen Material hergestellt, das hauptsächlich aus feinkörnigen Aluminiumoxydpulvern hoher Reinheit besteht, die bei Zimmertemperaturen verpreßt und bei überhöhten Temperaturen gebrannt werden. Die Verwendung dieses Materials ist bei der vorliegenden Erfindung besonders vorteilhaft, da das Material eine außerordentlich hohe physikalische Festigkeit besitzt, auch bei sehr hohen Temperaturen noch sehr beständig ist und eine bemerkenswerte Lichtdurchlässigkeit hat. Diese Eigenschaften sind zum großen Teil darauf zurückzuführen, daß im Gegensatz zu anderen keramischen Werkstoffen der Werkstoff im wesentlichen keine mikroskopisch kleinen Poren oder Bläschen enthält. Die Lichtdurchlässigkeit dieses Materials trägt weiter zu einer wirkungsvollen Kühlung der strombegrenzenden Lichtbögen bei, da die Energieabstrahlung durch die keramische Scheibe zum umgebenden Medium verbessert wird.

Ein weiterer Beitrag zur thermischen Wirksamkeit der Strombegrenzungsvorrichtung wird von den verhältnismäßig massiven Anschlußgliedern 16 und 17 geleistet, welche die mit leitendem Material gefüllten Kammern enthalten und sehr nahe an den Hochdrucklichtbögen liegen. Schmelzsicherungen haben gewöhnlich sehr lange perforierte Schmelzdrähte, wobei der größte Teil im Gegensatz zur vorliegenden Erfindung weit entfernt von den massiven Anschlußklemmen liegt. Da die Schmelzdrähte gewöhnlich in Quarzsand eingebettet sind, der bekanntlich ein sehr guter Wärmeisulator ist, kühlen sich die an den Einschnürungen des Schmelzdrahtes beim Schmelzen und Verdampfen auftretenden kleinen Lichtbögen nicht so schnell ab, und außerdem ist der an den Lichtbögen entstehende Spannungsabfall bei weitem nicht so groß wie bei der Strombegrenzungsvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung. Weiterhin haben Schmelzsicherungen den Fehler, daß sie manchmal unerwarteterweise schon bei einer unterhalb der zulässigen Nennstromstärke liegenden Stromstärke durchschmelzen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß wegen der wirksamen Isolation der Füllung der Schmelzdraht bei in der Nähe der Nennstromstärke liegenden Stromstärken anschnilt, wodurch der Schmelzpunkt in nicht zu übersehender Weise geändert wird. Die Schmelzsicherung mit auf diese Weise veränderter Nennstromstärke wird dann unnötigerweise später durch einen innerhalb des ursprünglichen Nennstrombereichs liegenden Strom durchgeschmolzen. Derartige Störungen treten im wesentlichen bei der Strombegrenzungsvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung wegen ihrer hohen thermischen Wirksamkeit nicht auf.

Als Füllmaterial für die Bohrungen 12 eignet sich auch ein eutektisches Gemisch von Natrium und Kalium. Es ist auch nicht unbedingt erforderlich, daß der in den Bohrungen befindliche Stoff unbedingt bei normaler Temperatur eine Flüssigkeit ist. Vorzugsweise werden jedoch flüssige Metalle verwendet, da bei Verwendung von flüssigen Metallen die Strombegrenzung viel schneller als bei Verwendung von festen Metallen eintritt. Dies ist darauf zurückzuführen, daß bei Verwendung eines festen Stoffes eine zusätzliche Energie, die Schmelzwärme, zur Überführung des Stoffes in den flüssigen Zustand erforderlich ist, während deren Zufuhr sich die Temperatur nicht erhöht. In der beschriebenen Strombegrenzungsvorrichtung würde diese zwar kleine zusätzlich erforderliche Schmelzzeit eine Verzögerung der Strombegrenzungswirkung zur Folge haben. Ein bereits im flüssigen Zustand befindliches Metall hat also gegenüber einem festen Metall einen zeitlichen Vorsprung. Weiterhin liegen im allgemeinen die Siedepunkte schon bei normaler Temperatur flüssiger Metalle niedriger, was sich weiterhin auf die Schnelligkeit, mit der sie verdampfen und in einer derartigen Vorrichtung den Strom begrenzen, auswirkt. Auch ist ein flüssiges Metall leichter in die kapillarartigen Bohrungen einzufüllen. Trotz der beschriebenen Vorteile eines flüssigen Metalls wurde aber auch Silber erfolgreich als Füllmaterial für die Bohrungen verwendet.

Bei der Wahl eines leitenden Materials für die kapillarartigen Bohrungen sollte auch das chemische Verhalten des Metalls beachtet werden. Sehr aktive Metalle, wie beispielsweise Lithium, Natrium und Kalium, können sich chemisch mit dem keramischen Material der Scheibe 11 verbinden. Bei gewöhnlichen Temperaturen und in Abwesenheit von katalytischen Stoffen können derartige Oxydationsreduktions-Reaktionen so langsam verlaufen, daß sie vernachlässigbar sind. Jedoch können diese Reaktionen durch sehr hohe Temperaturen und Drücke beträchtlich beschleunigt werden, so daß dadurch die keramische Scheibe allmählich angegriffen wird. Dadurch würde sich natürlich die Größe der kapillarartigen Bohrungen ändern und eine bestimmte Menge des leitenden Materials verbraucht werden. Auch die Lebensdauer des umgebenden Gehäuses sollte beachtet werden. Selbst wenn die Strombegrenzungsvorrichtung längere Zeit nicht oder nur einige Male verwendet wird und fast nie zur Strombegrenzung herangezogen wird, kann auch eine langsam verlaufende chemische Reaktion das elektrische Verhalten in unerwünschter Weise beeinflussen. Ein weniger aktives Metall als Silber hat also bestimmte Vorteile, die nicht außer acht gelassen werden können. Vorzugsweise wird Quecksilber verwendet.

Neben dem Werkstoff für die Scheibe 11 und den elektrischen Leiter müssen natürlich auch die anderen in der Strombegrenzungsvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung verwendeten Stoffe sorgfältig ausgewählt werden. Beispielsweise sollten die Anschlußglieder 16 und 17 vorzugsweise aus einem Werkstoff hergestellt werden, dessen Wärmeausdehnungskoeffizient möglichst gut mit dem der keramischen Scheibe 11 übereinstimmt. Zu diesem Zweck wird vorzugsweise ein fester leitender Werkstoff verwendet, der aus einer Mischung eines keramischen Stoffes mit einem Metall besteht und gewöhnlich als Keramik-Metall-Legierung bezeichnet wird. Die Dichtungen 21 und 38 können aus verhältnismäßig

steifem Silicongummi hergestellt werden, falls sehr genaue Toleranzen erforderlich sind. Unter den Köpfen der Schrauben 20 können zur weiteren Abdichtung der gefüllten Kammern 14 und 15 Ringe aus demselben Material angebracht werden. Für die Dichtungen 28 und 29, von denen die eine unter dem Kopf der Einfüllschraube 44 und die andere unter dem Kopf der Meßvorrichtung 43 für den Druck angebracht ist, wird vorzugsweise ein weiches Metall, wie Kupfer, verwendet. Die kleine Dichtung 40 an der Mitte des Kolbens 45 in der Druckmeßvorrichtung wird auch vorzugsweise aus einem weichen Metall hergestellt.

In Fig. 3 ist das Schaltbild eines Schutzschalters gezeigt, in dem die Strombegrenzungsvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung zusammen mit einem Selbstschalter verwendet wird. Schematisch ist ein mehrphasiger Verbraucherkreis durch Verbraucherleitungen 51 angedeutet, die über einen mit 53 bezeichneten Schalter und über dazu in Reihe liegende Strombegrenzungsvorrichtungen 100 an Speiseleitungen 52 angeschlossen sind.

Da der Verbraucherkreis und der Speisekreis dreiphasig sind, sind drei Strombegrenzungsvorrichtungen erforderlich, und der Schalter 53 muß drei Leiter überwachen. Zu diesem Zweck enthält er drei Kontakte 54, die von einer Sperrklinke 55 in der Schließstellung gehalten werden. Die Kontakte 54 sind beispielsweise durch eine Druckfeder 56 in die Offenstellung vorgespannt, so daß nach Freigabe der Sperrklinke 55 die Kontakte plötzlich geöffnet werden. Die Freigabe der Sperrklinke 55 kann sowohl durch thermische Auslöseelemente als auch durch magnetische Auslöseelemente erfolgen. Im gezeigten Beispiel bestehen die thermischen Auslöseelemente aus Bimetallstreifen 57 und die magnetischen Auslöseelemente aus Elektromagneten 58. Jedes einzelne Auslöseelement spricht auf Überströme an und öffnet die Kontakte, wenn die zum Verbraucherkreis fließenden Ströme einen bestimmten Nennwert überschreiten. Jede der beiden Bauarten der Auslöseelemente zeigt ein bestimmtes Verhalten. Fließen beispielsweise Überströme durch irgendeinen der Bimetallstreifen 57, so krümmt sich das eine Ende des Streifens nach unten und drückt gegen die Steuerstange 59, bis die Rolle 60 vom Haltedaumen 61 abgleitet und die gespannte Sperrklinke 55 freigibt, wodurch die Kontakte geöffnet werden. Durch die thermische Wirkung der Bimetallelemente wird eine unnötige Unterbrechung bei normalen Einschaltstromspitzen verhindert. Bei Dauerüberlastung krümmen sich jedoch die Bimetallstreifen und lösen die Sperrklinke und dadurch die Kontakte aus. Andererseits unterbrechen bei großer Überlastung die Elektromagnete die Leitung schneller. Fließen beispielsweise durch irgendeine der Spulen 62 Überströme, so wird der Anker 63 nach unten gezogen, die Steuerstange 59 mitbewegt und der Abschalter in der gleichen Weise ausgelöst. Die Elektromagnete arbeiten unabhängig von den Bimetallelementen, und jedes Auslöseelement kann selbst die Kontakte öffnen.

Die praktische Ausführungsform eines Schutzschalters unterscheidet sich natürlich noch von den in Fig. 3 nur schematisch dargestellten Teilen. Sehr oft sind noch Vorrichtungen sowohl für Hand- oder Fernbedienung vorgesehen. Auch kann ein Schutzschalter noch Lichtbogenlöschvorrichtungen, Verriegelungsvorrichtungen u. dgl. enthalten. Jeder Schalter

hat gewöhnlich bestimmte eigene Schutzvorrichtungen zum Schutz gegen Überlastungsströme. Da in dem in Fig. 3 gezeigten Abschalter zwei verschiedene Arten von Auslöseelementen verwendet werden, wird seine Auslösekennlinie als thermisch-magnetische Auslösekennlinie bezeichnet. Die Strombegrenzungsvorrichtungen 100 schützen nicht nur die Verbraucher- und die Zuführungsleitungen, sondern auch den Schalter gegen Kurzschlußströme, welche wegen ihrer Größe nicht mehr abgeschaltet werden können oder zu schnell auftreten.

In Fig. 4 ist in einem logarithmischen Koordinatensystem die Zeit-Strom-Kennlinie eines 200-A-Schutzschalters mit thermischen und magnetischen Auslöseelementen gezeigt. Die Zeit ist in Sekunden aufgetragen, und für die Einheit der effektiven Stromstärke wurde ein Wert von 100 A gewählt. Wie aus der Zeichnung ersichtlich ist, wird die Kennlinie durch einen Knick *X* in zwei Teile geteilt. Der untere Teil fällt fast senkrecht ab und verläuft dann anschließend parallel zur *X*-Achse. Der Verlauf des oberen Teils wird von der Kennlinie der thermischen Auslöseelemente, beispielsweise der in Fig. 3 gezeigten Bimetallstreifen 57, bestimmt, während der Verlauf des unteren Teils von den magnetischen Auslöseelementen, beispielsweise den in Fig. 3 gezeigten Elektromagneten 58, bestimmt wird. Ein thermisches Auslöseelement spricht langsam auf Überlastungsströme an, die nicht allzu sehr über der Nennstromstärke liegen. Hat der Überlastungsstrom beispielsweise eine effektive Stromstärke von 800 A, dann löst das thermische Auslöseelement den Abschalter in ungefähr 60 Sekunden aus. Bei größeren Überstromstärken erfolgt die Unterbrechung innerhalb einer kürzeren Zeit. Beispielsweise unterbricht der Abschalter nach ungefähr 0,025 Sekunden bei einem Überlast- oder Kurzschlußstrom von ungefähr 2000 A.

Innerhalb der kürzesten Ansprechzeit des Schutzschalters können sehr große Ströme fließen, falls keine Vorkehrungen zu ihrer Begrenzung getroffen werden. Kennlinien von Schmelzsicherungen, die mit dem obengenannten Schutzschalter verwendet werden können, sind in Fig. 4 mit *B*, *C* und *D* bezeichnet.

Eine richtig auf den Abschalter abgestimmte Strombegrenzungsvorrichtung sollte die vor der Auslösung des Abschalters auftretenden Durchlaßströme auf einen möglichst niederen Wert begrenzen, und ihre Kennlinie sollte nicht den Knick der Kennlinie des Schutzschalters kreuzen, da sonst schon bei noch zulässigen Strömen unerwünschte Unterbrechungen auftreten könnten. Wegen der negativen Steigung der Schmelzsicherungskennlinien *B*, *C* und *D* muß ein Kompromiß zwischen diesen beiden Forderungen gemacht werden. Normalerweise wählt man eine Schmelzsicherung, deren Kennlinie so nahe wie möglich am Knick der Schutzschalterkennlinie liegt, diesen Knick aber nicht schneidet. Die sich ergebende Durchlaßstromstärke muß dann einfach hingenommen werden.

Die in Fig. 4 gezeigte Kurve *C* ist die Kennlinie einer 800-A-Schmelzsicherung, die im Handel erhältlich ist und in dem 200-A-Schutzschalter verwendet wird, dessen Kennlinie die Kurve *A* ist. Die geringste Durchlaßstromstärke, die sich aus dem Schnittpunkt der Kurve *A* mit der Kurve *C* ergibt, hat einen Wert von 11000 A, d. h., sie ist 55mal größer als die Nennstromstärke des Schutzschalters. Da innerhalb von Schmelzsicherungen einer bestimmten Nenn-

stromstärke die Kennlinien schwanken, wird zur Vermeidung von Störungen, die durch unerwünschtes Durchschmelzen bei noch 'zulässigen Stromstärken entstehen können, wenn die beiden Kennlinien zu nahe aneinander liegen, sehr oft noch eine stärkere Schmelzsicherung verwendet.

Die Kurve *D* ist die Kennlinie einer 1200-A-Schmelzsicherung, die auch zusammen mit dem 200-A-Schutzschalter verwendet werden kann. Diese Kennlinie berührt den Knick der Kurve *A* nicht, sondern läuft im Abstand daran vorbei. Es können daher auch viel größere Durchlaßströme auftreten. Der geringste Durchlaßwert der 1200-A-Schmelzsicherung ist durch den Schnittpunkt der Kurve *D* mit der Kurve *A* gegeben und hat einen Wert von 18000 A, d. h., er ist 90mal so groß wie die Nennstromstärke des Schutzschalters. Die Wahl einer geeigneten Strombegrenzungsvorrichtung ist also sehr schwierig.

Die Kurve *B* stellt die berechnete Kennlinie einer idealen Schmelzsicherung dar, die nach den modernsten Gesichtspunkten konstruiert ist. Eine Schmelzsicherung mit der durch die Kurve *B* dargestellten Kennlinie für einen 200-A-Schutzschalter ist im Handel nicht erhältlich. Nach den angestellten Berechnungen würde auch diese vollkommen angepaßte Schmelzsicherung Spitzenströme von wenigstens 4800 A oder eine 24mal größere Stromstärke als die Nennstromstärke des Schutzschalters durchlassen.

Die Kurve *E* ist die Kennlinie einer angepaßten Strombegrenzungsvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung. Sie läuft knapp am Knick der Kurve *A* vorbei und schneidet die Abschalterkennlinie bei 3000 A, d. h. bei einem Wert, der 15mal größer ist als die Nennstromstärke des Abschalters. Die Strombegrenzungsvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung zeigt also im Vergleich zu bekannten Vorrichtungen, die zum selben Zweck verwendet werden, ein viel günstigeres Verhalten. Da die Kennlinie der Strombegrenzungsvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung eine größere Steilheit als die Kennlinien der bekannten Schmelzsicherungen hat, wird durch die erfindungsgemäße Strombegrenzungsvorrichtung auch eine wirksamere Strombegrenzung erzielt. Im Gegensatz zu den bekannten Schmelzsicherungen, die bei ihrer ersten Strombegrenzung zerstört werden, können als weiterer Vorteil die Strombegrenzungsvorrichtungen nach der vorliegenden Erfindung mehrmals verwendet werden.

Bei der Strombegrenzungsvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung ist die durch das verdampfbare Metall bedingte Wärmekapazität im Gegensatz zu Schmelzsicherungen verhältnismäßig gering, der thermische Wirkungsgrad bei der Abfuhr der freigesetzten Wärme aber verhältnismäßig hoch, da das Metall in der Nähe von massiven Anschlußgliedern angeordnet ist, die keramische Scheibe das Licht durchläßt und eine große Anzahl von zueinander parallelliegenden kapillarartigen Bohrungen verwendet wird.

In Fig. 5 ist der Verlauf eines Kurzschlußstromes mit einer Frequenz von 60 Hz und einem Maximalwert von 6000 A gestrichelt gekennzeichnet. Die ausgezogene Linie ist ein Oszillogramm, das den tatsächlichen Stromverlauf beim Auftreten des Kurzschlußstromes in einer Leitung zeigt, in der neben einer Strombegrenzungsvorrichtung der in Fig. 1 gezeigten Bauart ein schnell ansprechender magnetischer Schutzschalter verwendet wird. Bei dem bei 29°C

auftretenden Kurzschlußstrom von 2630°C verdampfte das in den kapillarartigen Bohrungen der Strombegrenzungsvorrichtung befindliche leitende Material, wodurch schlagartig der Strom auf einen Wert verringert wurde, der im Vergleich zum Maximalwert von 6000 A schwer zu messen war. In Verbindung mit der Strombegrenzungsvorrichtung wurde ein außerordentlich schnell ansprechender magnetischer Schutzschalter verwendet. Bereits bei 124°C wurden die Kontakte des Schutzschalters geöffnet, so daß der durch die Strombegrenzungsvorrichtung begrenzte Strom auf Null abfiel. Die Strombegrenzungsvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung begrenzte also den Durchlaßstrom auf einen innerhalb des Unterbrechungsbereiches des Schutzschalters liegenden Wert.

PATENTANSPRÜCHE:

1. Strombegrenzungsvorrichtung mit einem zwischen zwei Anschlußgliedern angeordneten festen Isolator, durch den sich mindestens eine kapillarartige Öffnung erstreckt, die mit einem verdampf-

baren elektrischen Leiter ausgefüllt ist, der elektrischen Kontakt mit den beiden Anschlußgliedern hat, die zusammen mit dem Isolator ein abgeschlossenes Gehäuse bilden, dadurch gekennzeichnet, daß dieses Gehäuse zur Erzielung eines strombegrenzenden Hochdrucklichtbogens in der kapillarartigen Öffnung bei Überstrom in einem starren, mit einem unter hohem Druck stehenden Medium gefüllten Druckgefäß angeordnet ist.

2. Strombegrenzungsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuse mit unter Druck stehendem Isolieröl angefüllt ist.

3. Strombegrenzungsvorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das unelastische Gehäuse mit einer Einrichtung zur Erhöhung des Isolieröldruckes versehen ist.

In Betracht gezogene Druckschriften:

Deutsche Patentschrift Nr. 138 229;
österreichische Patentschrift Nr. 64 774;
schweizerische Patentschrift Nr. 273 223;
französische Patentschrift Nr. 993 996.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen



